

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

KINEZIOLOŠKI FAKULTET

(studij za stjecanje akademskog naziva:

magistar kineziologije)

Valentina Jurković

**CYBATHLON - NATJECANJE OSOBA S
INVALIDITETOM UZ POMOĆ BIONIČKE
TEHNOLOGIJE**

diplomski rad

Mentor:
izv. prof. dr. sc. Pavle Mikulić

Zagreb, rujan, 2019.

Ovim potpisima se potvrđuje da je ovo završena verzija diplomskog rada koja je obranjena pred Povjerenstvom, s unesenim korekcijama koje je Povjerenstvo zahtijevalo na obrani te da je ova tiskana verzija istovjetna elektroničkoj verziji predanoj u Knjižnici.

Mentor:

Student:

CYBATHLON - NATJECANJE OSOBA S INVALIDITETOM UZ POMOĆ BIONIČKE TEHNOLOGIJE

Sažetak

Asistivna tehnologija osobama s invaliditetom omogućuje obavljanje svakodnevnih aktivnosti, bolje snalaženje u raznim životnim situacijama, a možemo reći da im povećava i ukupnu kvalitetu života. Interakcijom asistivne tehnologije kojom se služe osobe s invaliditetom te novim otkrićima u bioničkoj tehnologiji, Cybathlon se prepoznaje kao novi, obećavajući aspekt natjecanja osoba s invaliditetom. Cybathlon radi korak naprijed u boljem prihvatanju i snalaženju osoba s invaliditetom u društvu tako što razvija novi sustav natjecanja uz pomoć najnovije tehnologije, ne bi li osobama s invaliditetom olakšao svakodnevni život te unaprijedio kvalitetu života.

Ključne riječi: ručna proteza, nožna proteza, egzoskeleton, funkcionalna električna stimulacija

CYBATHLON - THE COMPETITION OF PEOPLE WITH DISABILITIES WITH BIONIC TECHNOLOGY ASSISTANCE

Abstract

Assistive technology enables people with disabilities to perform daily activities, to confront in various situations and to increase their quality of life. The interaction of assistive technology used by people with disabilities and the new discoveries in bionic technology, Cybathlon is recognized as the new and the promising aspect of competition for people with disabilities. Cybathlon takes a step forward in accepting these people, in order to develop a new competition system with the help of the latest technology, to make their daily lives easier and to improve their quality of life.

Key words: arm prosthesis, leg prosthesis, exoskeleton, functional electrical stimulation

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. O Cybathlonu	2
2. DISCIPLINE	5
2.1. Utrka u sustavu sučelja mozga i računala / <i>Brain-Computer Interface Race (BCI)</i>	6
2.1.1. Opis i pravila zadatka	7
2.2. Biciklistička utrka na funkcionalnu električnu stimulaciju / <i>Functional Electrical Stimulation Bike Race (FES)</i>	8
2.2.1.a Opis zadatka	8
2.2.1.b Pravila zadatka	9
2.3. Utrka s nošenjem ručne proteze na pogon / <i>Powered Arm Prosthesis Race (ARM)</i>	9
2.4. Utrka s nošenjem nožne proteze na pogon / <i>Powered Leg Prosthesis Race (LEG)</i>	12
2.5. Utrka s nošenjem egzoskeletona na pogon / <i>Powered Exoskeleton Race (EXO)</i>	14
2.6. Utrka invalidskim kolicima na pogon / <i>Powered Wheelchair Race (WHL)</i>	16
3. OPIS POKRETA PO DISCIPLINAMA	19
4. ZAKLJUČAK	27
5. LITERATURA	29

1. UVOD

Asistivni uređaji služe osobi s invaliditetom da bolje funkcionira u svakodnevnom životu te postigne višu kvalitetu života u svom domu i u zajednici u kojoj živi te postigne najviši stupanj samostalnosti (Bošković, 2016). Kvaliteta života definira se, prema Krizmaniću i Kolesariću (1989), kao subjektivno doživljavanje vlastitog života određeno objektivnim okolnostima u kojima osoba živi, karakteristikama ličnosti koje utječu na doživljavanje realnosti i njenog specifičnog životnog iskustva. Preduvjeti za kvalitetan život su puno i aktivno sudjelovanje u interakcijskim i komunikacijskim procesima, kao i razmjena u okviru fizičkoga i društvenog okruženja.

Stoga, prema mišljenju autorice, fizičko okruženje ima ulogu u poboljšanju kvalitete života osoba s invaliditetom: prilagođavanjem infrastrukture, prilaza zgradama, omogućavanje u sudjelovanju svim aktivnostima koje su onemogućene upravo zbog neprilagodljivosti gradnje objekata.

Prema istraživanju Tarandek i Leutar (2017) osobe s invaliditetom smatraju svoj život kvalitetnijim ukoliko je njihov udio u sudjelovanju kod kućanskih i obiteljskih poslova učestaliji. Većinu Cybathlonovih disciplina čine izvedbe kućanskih poslova i suočavanje sa svakodnevnim situacijama. Autorica smatra kako asistivna tehnologija koja se koristi u ovom natjecanju ima potencijal uvelike povećati kvalitetu života osoba s invaliditetom, kada bi bila dostupna široj populaciji.

McVeigh i sur. (2009) proveli su istraživanje o povezanosti kvalitete života i integraciji u društvenu zajednicu kod osoba sa spinalnom ozljedom uključenih i neuključenih u sportske aktivnosti te je ono pokazalo da su osobe uključene u sportsku aktivnost bolje integrirane u društvenu zajednicu.

Osim činjenice kako asistivna tehnologija pridonosi kvaliteti života, postoji druga strana koja je često zanemarena. Asistivna tehnologija može potencirati ozljede osoba koje se njom služe. Sam primjer su neke od disciplina u Cybathlonu gdje se tijekom razvoja za određenu disciplinu prolazilo kroz brojne potencijalne tipove asistivne tehnologije ne bi li se došlo do najsigurnijeg finalnog oblika pomagala. Primjerice, kod biciklističke utrke na funkcionalnu

električnu stimulaciju, velik dio vremena je uložen na efikasan odnos pedala i kuta sjedala da se izbjegne ozljeda zglobova donjih ekstremiteta zbog opaženih bolova kod sudionika (McDaniel, 2017). Također, u poglavlju „Opis pokreta po disciplinama– s podnaslovom „Utrka s ručnom protezom na pogon—, opisano je kako su nelagoda i bol prisutne kod korištenja protetske ruke.

Cyathlon je veliki poticaj za razvoj ovakve vrste tehnologije; naime, asistivna tehnologija već se koristi određeno vrijeme, no Cyathlon se prvi odlučio pokazati kako se njome može služiti u svakodnevnicu te unaprijediti kvaliteta života. Popularizacijom, omasovljenjem ovog tipa natjecanja može se doći do sponzorstva te time omogućiti većem broju osoba s invaliditetom sluzenje tom tehnologijom. Potencijalan je progresivan napredak i adaptacija pomagala svakom stanju i osobi. Na taj način, spoznaje bi omogućile smanjen broj mogućih ozljeda kao posljedice korištenja ove vrste tehnologije, zatim, povećala bi se svijest i razumijevanje za osobe s invaliditetom te kvaliteta njihovog života. Uz pomoć najnovijih otkrića iz bioničke tehnologije koja je produkt svakodnevnih istraživanja te potaknuta Cyathlonom, razvijaju se pametne proteze i uređaji koji bi u skorije vrijeme mogli postati dostupni široj populaciji.

1.1. O Cyathlonu

U Cyathlonu je zastupljeno šest različitih disciplina koje obuhvaćaju različita pomagala: od sportskih proteza bez stimulacije (pokreti određenog ekstremiteta izvode se snagom preostalih mišića) do proteza koje su stimulirane vanjskim izvorom energije (primjerice, elektromotorna kolica). Osim navedenih aktivnosti uključene su aktivnosti koje su vezane za električne potencijale mozga koji preko određenih pomagala aktiviraju sučelje računala.

Cyathlon nastoji poslužiti kao platforma za daljnja istraživanja o sustavima pomoći za svakodnevnu uporabu i promicanje dijaloga s javnošću. Programeri bi trebali imati priliku razmjenjivati ideje i blisko surađivati s osobama s invaliditetom dok razvijaju svoje uređaje. Pod okriljem sveučilišta ETH Zürich, Cyathlon se provodi kao neprofitni projekt koji ima za cilj

razbiti barijere između javnosti, osoba s invaliditetom i razvojnih intencija tehnologije organiziranjem jedinstvenih natjecanja. Natjecanja se organiziraju kao javni događaji.

Ciljevi Cybathlon-a su poticanje istraživanja, razvoj i primjena tehnologije za osobe s invaliditetom, izgradnja zajedničke baze za razvojne intencije, osobe s invaliditetom te širu javnost, zatim informiranje javnosti i poticanje rasprava o uključivanju i jednakosti osoba s invaliditetom u svakodnevnom životu te uklanjanje barijera između javnosti, programera i korisnika tehnologije koja se razvija za Cybathlon natjecanja.

Gledajući milijune ljudi koji koriste sustave tehničke pomoći u svakodnevnom životu, Robert Riener, voditelj katedre za senzomotorne sustave, ETH Zurich, pokrenuo je Cybathlon 2013. godine. Ideja za Cybathlon bila je inspirirana sportašima, kao što je prvi trkač koji je s motoriziranom protezom noge sudjelovao na utrci po stepenicama nebodera Willis Tower u Chicagu i prvi trkač s paralizom donjeg dijela tijela koji je koristio egzoskeleton za trčanje u londonskom maratonu.

Cybathlon je pokrenut kao baza za razmjenu informacija između osoba s invaliditetom, pružatelja tehnologije i javnosti kako bi se podigla svijest o izazovima s kojima se suočavaju osobe s invaliditetom i time promicati razvoj asistivnih tehnologija. Cybathlon je 8. listopada 2016. prvi put proveden u SWISS Areni u Kloten u blizini Züricha. Kroz brojne intervjuje i u okviru znanstvenog simpozija ojačan je i produbljen diskurs o potencijalima budućih tehničkih asistencijskih sustava koji bi olakšali uključivanje osoba s invaliditetom u šire društvo.

Cybathlon je postao značajan događaj koji je interaktivno prikazao uzajamno djelovanje ljudi i tehnologije. Ključne točke uspjeha sažete su u nastavku:

1. 66 sudionika sudjelovalo je s 56 ekipa iz 25 zemalja u šest disciplina;
2. 4.600 posjetitelja (rasprodanih), od kojih je 60% korisnika invalidskih kolica, više od 90% posjetitelja ocijenilo je Cybathlon vrlo zadovoljavajućim;
3. Više od 500 objavljenih tekstova u visokotiražnim časopisima i novinama, npr. *Financial Times*, *New York Times*, *NZZ*, *Sports Illustrated*, *Spiegel*, *Stern*, *Tagesanzeiger*, *The Herald*, *Washington Post*, *Wired*, *Yumiori Shimbun*;

4. Snimljeni su dokumentarni filmovi na mnogim televizijskim kanalima, na primjer 3Sat, ARTE, BBC, CNN, NHK, SRF;
5. Više od 4500 videouradaka od timova, posjetitelja i medijskih agenata, npr. Engadget;
6. Objavljena istraživanja u znanstvenim časopisima, npr. *Nature*, *IEEE Spectrum*, časopis za neuroinženjering i rehabilitaciju, IEEE magazin za robotiku i automatizaciju (Cybathlon, 2019).

2. DISCIPLINE

U ovom radu su predstavljene discipline, opće odredbe i pravila koja vrijede za dolazeće natjecanje 2020. godine objavljene na službenoj internet stranici Cybathlon; Races and Disciplines (2018). Zadaci su odabrani i osmišljeni tako da predstavljaju tipične situacije s kojima se osobe s invaliditetom susreću u svakodnevnom životu. Dok su neki od zadataka ostali nepromijenjeni u odnosu na Cybathlon 2016, drugi su neznatno izmijenjeni ili su novo osmišljeni zadaci.

Discipline za natjecanje su:

1. Utrka u sustavu sučelja mozga i računala / *Brain-Computer Interface Race (BCI)*;
2. Biciklistička utrka na funkcionalnu električnu stimulaciju / *Functional Electrical Stimulation Bike Race (FES)*;
3. Utrka s nošenjem ručne proteze na pogon / *Powered Arm Prosthesis Race (ARM)*;
4. Utrka s nošenjem nožne proteze na pogon / *Powered Leg Prosthesis Race (LEG)*;
5. Utrka s nošenjem egzoskeletona na pogon / *Powered Exoskeleton Race (EXO)*;
6. Utrka na invalidskim kolicima na pogon / *Powered Wheelchair Race (WHL)*.

Opće odredbe o načinu natjecanja:

U svakoj disciplini timovi se natječu za tri medalje: zlato, srebro i broncu. Sve pobjedničke ekipe (prvo, drugo, treće mjesto) dobivaju dvije nagrade, jednu za sudionika i jednu za pružatelja tehnologije. Natjecanje u svakoj disciplini je podijeljeno na prethodne kvalifikacijske utrke nakon čega slijedi finale. Nije dopušteno izmjenjivati sudionika ili mijenjati tehničku opremu (uređaje ili dijelove uređaja) između utrka, tj. samo sudionik koji ulazi u kvalifikacijsku utrku može započeti u kasnijim završnim utrkama s istom tehničkom opremom.

Kvalifikacijska natjecanja:

Svaki sudionik se prvo natječe u kvalifikacijskoj utrci. Na temelju rangiranja svih sudionika određene discipline, utvrđuje se koji sudionici se natječu u završnim utrkama. Najviše 16

sudionika se natječe u kvalifikacijskim utrkama u svakoj disciplini. U svakoj kvalifikacijskoj utrci sudjeluju četiri ili manje sudionika:

- a) Sudionici rangirani od 1. do 8. mjesta u kvalifikacijskim utrkama određene discipline sudjeluju u finalu raspoređeni po skupinama determinirane prema uspješnosti.
- b) Sudionici su rangirani od 1. do 4. mjesta (sudionici su rangirani kao 1. i 2. u slučaju FES utrke, gdje se samo dva sudionika natječu u svakoj utrci) u kvalifikacijskim utrkama sudjeluju u A finalnoj skupini. Sudionici rangirani od 5. do 8. mjesta u kvalifikacijskim utrkama (3. i 4. mjesto u slučaju FES biciklističkih utrka) napreduju na B finalnoj skupini. U slučaju FES biciklističke utrke, sudionici na 5. i 6. mjestu u kvalifikacijskim utrkama sudjeluju u C finalnoj skupini, a sudionici na 7. i 8. mjestu u kvalifikacijskim utrkama sudjeluju u D finalnoj skupini.
- c) Sudionici i momčadi s A finalne skupine koji se rangiraju na 1.-3. mjesto dobivaju medalje. Četiri sudionika iz B finalne skupine natječu se za 5. do 8. mjesto. U slučaju FES Bike utrke, dva sudionika u A-finalu natječu se za zlatnu i srebrnu medalju. Dva sudionika u B-finalu natječu se za brončanu medalju.

2.1. Utrka u sustavu sučelja mozga i računala / *Brain-Computer Interface Race (BCI)*

Povijest sučelja mozak-računalo (u daljnjem tekstu SMR) je počela otkrićem doktora Hansa Bergera 1929. godine koji je pomoću EEG-a (eng. electroencephalography) uspio pokazati električnu aktivnost mozga na papiru. SMR uređaji spajaju se na mozak preko računalnog sustava. U periodu između 30-ih te 90-ih godina prošlog stoljeća nekoliko laboratorija diljem svijeta je uspjelo zabilježiti signale iz majmunskih i štakorskih cerebralnih korteksa kako bi koristili SMR s ciljem da proizvedu neku vrstu pokreta. Početkom 90-ih prošlog stoljeća počelo se dolaziti do većih otkrića u polju SMR koji je poslužio svim znanstvenicima od tada do danas kao temelj za daljnja istraživanja i unaprjeđivanja SMR uređaja kako bi se moglo pomoći osobama s invaliditetom (Draženović, 2018).

Sudionici s kvadriplegijom koriste sustav sučelja mozga i za kontrolu vozila, odnosno avatara (u informatici i komunikacijama, grafika, slika ili tekstovni opis kojim korisnik predstavlja samoga sebe na mrežnim forumima, igrama, u prividnoj stvarnosti i dr.) (enciklopedija.hr, 2019) u računalnoj igri. Naredbe za kontrolu računalne igre pokreće SMR nakon što su poslani odgovarajući signali iz mozga. Pouzdanost i preciznost SMR-a izazvani su u konkurenciji kako bi se potaknuo razvoj SMR-a s različitim aplikacijama pogodnim za svakodnevni život. Na primjer, za osobe s ograničenom sposobnošću kretanja (npr. kvadriplegija), SMR se može koristiti za kontrolu različitih tipova uređaja, npr. računala, robotske ruke ili invalidskih kolica.

Računalna igra je igra za više igrača, razvijena za utrku u sustavu sučelja mozga i računala. U svakoj utrci su opremljena su četiri sudionika te im je omogućena kontrola ponašanja svog avatara u igri. Avatar svakog sudionika vozi se na pojedinačnoj traci (stazi). Tijekom utrke sudionici sjede ispred svojih ekrana, gledaju svog avatara i njegov položaj među ostalim avatarima. Onaj koji prvi završi utrku je pobjednik.

2.1.1. Opis i pravila zadatka

Sudionici moraju poslati odgovarajuće naredbe koristeći svoje avatare u ispravnom vremenskom okviru dok se voze na stazi koja je podijeljena u namjenske zone (zadatke), označene cestovnim znakovima ili linijama na cesti. Nakon početka utrke, svaki avatar sam se kreće naprijed i tako dolazi do cilja utrke. Ne kreće se ako ne postoje signali od sudionika ili ako stalno prima pogrešne signale. Sudionici mogu poslati do tri različite naredbe kako bi kontrolirali svoj avatar. Veći broj naredbi povećavaju šanse za pobjedu u utrci.

Za održavanje brzine avatara potrebno je slanje odgovarajuće naredbe u pravo vrijeme, dok pogrešan unos ili bez unosa (ako je unos potreban) usporava avatara. Sudionici mogu pokrenuti svog avatara tako da skrenu lijevo ili desno. Također, dolazi do iznenadnih promjena u okolini, na primjer gašenje uličnih svjetala kod kojih se avatar usporava sve dok sudionik ne reagira s odgovarajućom reakcijom paljenja svjetla. U određenim dijelovima igre ne smiju se slati signali, a avatari moraju usporiti ako slučajno pošalju bilo koju naredbu.

Sudionik može predvidjeti naredbe –lijevo||, –desno|| i –nema unos||, dok naredba –svjetlo|| mora biti generirana kao odgovor na promjenjivo okruženje. Redoslijed zadataka koji se pojavljuju na stazi nije poznata sudionicima prije utrke i različita je za svaku utrku. Ukupan broj zona ostaje konstantan. Broj svake vrste zone (lijevo/ desno/ svjetlo) u svakoj utrci definira se i priopći na samoj utrci. Vremensko ograničenje utrke jesu četiri minute.

2.2. Biciklistička utrka na funkcionalnu električnu stimulaciju / *Functional Electrical Stimulation Bike Race (FES)*

Sudionici s potpunom ozljedom leđne moždine (u daljnjem tekstu - ozljeda LM) opremljeni su uređajima za funkcionalnu električnu stimulaciju (FES) koji im omogućuju kretanje pomoću okretanja pedala na lećećem biciklu. Pokazalo se da redovita FES-ova vježba biciklizma nakon ozljeda LM dovodi do fizioloških prilagodbi, kao što su poboljšanje gustoće kostiju, kardiovaskularne i respiratorne sposobnosti te povećanje mišićne mase. Osim primjene biciklizma FES-a u rehabilitaciji, on može biti od velike rekreativne vrijednosti za osobe s ozljeda LM-e.

Kako bi uspješno sudjelovali u utrci, sudionici se kondicijski pripremaju specifičnim FES- kim treninzima prije natjecanja. Tijekom utrke, osim apsolutne mišićne snage i izdržljivosti, vremenska aktivacija mišića također igra ključnu ulogu u smanjenju učinaka umora na mišiće. Svaki uzorak stimulacije može se primijeniti na bilo koji mišić nogu, sve dok su tehnologija stimulacije i uzorak sigurni. U utrci, dva sudionika počinju u isto vrijeme na kružnoj stazi. Oni voze osam krugova na kružnoj trkalištu što rezultira ukupnom udaljenosti od oko 1200 m.

2.2.1.a Opis zadatka

Startne rampe omogućuju sudionicima ubrzanje na početku utrke. Kratka vrata koriste se za sprječavanje početka skoka. Dok se čeka početak, nijedan dio bicikla ne smije dirati vrata, a

ni jedan dio ne smije biti iza vrata. Od sudionika se traži da se služe kočnicom dok vrata starta ne padnu. Utrka počinje (tj. mjeri se vrijeme) kada vrata starta padnu.

2.2.1.b Pravila zadatka

Vremensko ograničenje: 8 min, udaljenost: 1200 m (8 krugova)

–Odvojena vremena uzimaju se na svakom polukrugu. Ako su sudionici završili isti broj krugova unutar vremenskog ograničenja, zbog povlačenja od strane sudionika, ili zbog prisilnog završetka utrke od strane suca u slučaju kršenja ili tri upozorenja, smatra se da posljednje

–odvojeno vrijeme smatra rezultatom sudionika. Ako su sudionici završili isti broj polu krugova u isto vrijeme, sudionik s manje upozorenja bolje se ocjenjuje.

2.3. Utrka s nošenjem ručne proteze na pogon / *Powered Arm Prosthesis Race (ARM)*

Sudionici s transradijalnom ili proksimalnom amputacijom ruke ili dismelijom opremljeni su egzoprostetskim uređajima (protezama za ruke). Sudionici su suočeni s velikim brojem zadataka vezanih uz svakodnevne životne aktivnosti. U nekim zadacima sudionicima se dopušta korištenje obiju ruka, kao i bilo koji drugi dio tijela kako bi manipulirali objektima. U drugim zadacima, sudionici se suočavaju sa situacijama koje eksplicitno dovode u pitanje izvedbu njihove proteze, tj. sinergiju između sudionika i tehnologije. U tim zadacima sudionici dopuštaju samo manipuliranje određenim predmetima ili dijelovima objekta protetskom rukom. Ovi predmeti/ dijelovi uvijek su obojeni plavom bojom. U trećem tipu zadatka, sudionici su pozvani da identificiraju objekte koje ne mogu vidjeti, tj. moraju se osloniti na senzorne informacije koje pruža proteza ruke. Od sudionika se traži da u zadanom vremenu riješe što više zadataka.

U daljnjem tekstu opisuju se zadaci koji čine utrku. Utrku čini šest zadataka:

1. Doručak

2. Rublje
3. Čišćenje
4. Poboljšanje doma
5. Haptička kutija (eng. *haptic box*)
6. Ţićana petlja

Dorućak

Mogućnost korištenja kuhinjskog pribora (npr. pribora za jelo, otvaraća za konzerve itd.) je kritična za samostalan Ţivot i uključuje bezbrojne zadatke koji se obično obavljaju spretnom bimanualnom interakcijom. TakoĐer, neki predmeti u kuhinji su vrlo osjetljivi za rukovanje i zahtijevaju vrlo preciznu kontrolu sile prianjanja. U ovom zadatku mora se pripremiti stol za dorućak. Zadatak uključuje rezanje kruha, odmotavanje kocke šećera i otvaranje boce, staklenke i limenke. Nadalje, svijeća mora biti upaljena. Za ovaj zadatak postoji 8 pravila kojima je definiran redoslijed zadataka, finalni izgleda zadatka i negativni bodovi.

Rublje

Vješanje rublja zahtijeva poseban skup finih motorićkih sposobnosti, osobito fine motorike prstiju. Da bi proteza ruke bila praktićna za svakodnevnu uporabu, mora biti moguće nositi standardnu odjeću s njom. U tom zadatku, vješalica s majicom na kapuljaću mora se uzeti iz stalka za kaput, mora se obući i zatvarać mora biti zatvoren. Odjeća koja se stavlja u košaru za odjeću mora se pospremiti pomoću vješalica i plavih hvataljki za odjeću. Štoviše, dva gumba sakoa moraju se zakopćati, a cipele moraju biti vezane. Majica s kapuljaćom moŢe se ponovno skinuti na kraju zadatka.

Čišćenje

U svakodnevnom životu treba manipulirati velikim brojem predmeta različitog oblika, veličine, sukladnosti, teksture i težine. Sposobnost suočavanja s ovom raznolikošću zahtjeva izaziva se ovim zadatkom. Objekti i različiti načini držanja predmeta odabrani su na temelju literature i njihove relevantnosti u svakodnevnom životu. Osim načina korištenja predmeta različitih vrsta, u ovom zadatku testirana je sposobnost održavanja hvataljki tijekom posturalnih promjena u ručnom zglobu / ruke i kontrole sile prisanjanja.

Od sudionika se traži da shvate i pomaknu predmete pojedinačno iz svoje unaprijed definirane početne pozicije na površini stola u unaprijed određeni ciljni položaj. Plavi objekti razlikuju se po težini, veličini, obliku, sukladnosti i teksturi kako bi izazvali različite položaje prisanjanja, vrste manipulacija i kontrolu sile prisanjanja.

Poboljšanje doma

Mogućnost korištenja alata ključna je za završetak radova prilikom održavanja kuće, kao što je rad čekićem i čavlima ili zamjena šarulje. U zadatku za poboljšanje doma, različiti alati i predmeti (uglavnom plavi predmeti) skidaju se s ploče za alat, stavljaju u kutiju s alatima (po izboru) i prenose se preko stuba do stola, gdje se koriste alatima.

Haptička kutija

Dostupnost povratnih osjetilnih informacija iz proteze mogu pomoći u poboljšanju motoričke kontrole proteze i izvedbi pokreta pomoću uređaja. U ovom zadatku, predmeti specifičnog oblika, teksture i sukladnosti moraju biti identificirani unutar kutije bez dostupnosti vizualnih povratnih informacija. Sudionici mogu doprijeti do kutije s protetskom rukom, ali ne vide svoj radni prostor tijekom izvršavanja zadatka (tj. tijekom identifikacije objekta). Predmeti su čvrsto pričvršćeni na dno kutije tako da se ne mogu podići ili ukloniti. Objekti su prikazani slučajnim redoslijedom. Sudionici se mogu osloniti samo na senzorne povratne informacije od

proteze (npr. zvukove, vibracije u utičnici, haptičku povratnu vezu s terminalnim uređajem) kako bi riješili zadatak.

Žičana petlja

Održavanje čvrstog prijanjanja tijekom posturalnih promjena ruke (npr. pronacija i supinacija podlaktice, fleksija i ekstenzija lakta) može biti izazov za korisnike protetskih ruku, ali relevantno za mnoge situacije u svakodnevnom životu (npr. prilikom uzimanja telefona). Ovaj aspekt protetske funkcije ruku naglašen je u ovom zadatku. Piloti drže vodljivu žičanu petlju s plavom ručkom. Zaobljenu metalnu žicu treba pratiti bez dodirivanja žice.

2.4. Utrka s nošenjem nožne proteze na pogon / *Powered Leg Prosthesis Race (LEG)*

Sudionici s transfemoralnim amputacijama ili eksartikulacijom koljena opremljeni su egzoprostetičkim uređajima (protezama za noge) te se izazivaju zadacima vezanim uz svakodnevne životne aktivnosti. Bipedni hod je visoko automatiziran pokret, a tijekom većine vremena provedeni su sekundarni zadaci pomoću ruku. Stoga, sudionici moraju nositi ili uravnotežiti predmete rukama tijekom obavljanja zadataka za protezu noge. Od sudionika se traži da u zadanom vremenu riješe što više zadataka.

Zadaci su:

1. Kauč
2. Prepreke
3. Težak teren
4. Stepenice
5. Staza pod nagibom
6. Rampa i vrata

Kauč

Sjedenje i ustajanje su izazovni zadaci kada se nosi proteza donjeg ekstremiteta s umjetnim zglobovima koljena, jer se moraju stvoriti ili kompenzirati pokreti vezani za zadatak. U ovom zadatku sudionici moraju sjesti i ustati s kauča dok balansiraju predmete u svojim rukama. Kada se sjedi i stoji, obje noge moraju biti smještene u skučenom prostoru, kao što je sjedenje u uskom odjeljku vlaka.

Prepreke

Ponekad je potrebno preći preko objekata koji su duži od standardnih koraka ili čučnuti pa proći ispod objekata, npr. prilikom šetnje u šumi ili na gradilištu. U zadatku prepreka, sudionici moraju prelaziti preko ili ispod prepona dok nose drveni sanduk i jabuke.

Težak teren

U određenim situacijama u svakodnevnom životu potrebno je točno kontrolirati pozicioniranje stopala, npr. prilikom prvog koraka na pokretne stepenice, izbjegavanje lokve kada pada kiša ili šetnja šumom (npr. koračajući po kamenju ili korijenju). U zadatku sudionici su izloženi izazovu da stanu na drvene rešetke, kako bi testirali sposobnost postavljanja stopala na određeno mjesto i održavanje dinamičke ravnoteže.

Stepenice

Stepenice su vrlo česte u svakodnevnom životu. Ljudi koji koriste proteze donjih ekstremiteta s umjetnim zglobovima koljena često moraju prilagoditi svoj način kretanja kako bi se penjali ili spuštali stepenicama. Nastali nefiziološki i asimetrični pokreti mogu dovesti do sekundarne neugode (npr. bol u leđima). Ovaj zadatak ispituje koliko dobro sudionici koji koriste

proteze donjih ekstremiteta prevladaju kretanje stepenicama i dopuštaju li prirodan, naizmjenični hod - pogotovo kada je potrebno nositi velike i nestabilne predmete u isto vrijeme.

Staza pod nagibom

U svakodnevnom životu, nailazi se na staze pod nagibom te mijenjaju način hodanja, npr. kada hodate po prirodnim stazama, planinskom putu ili preko polja. Naročito kada se hoda vani, može se promijeniti i površina tla. U ovom zadatku izazov je hodanje gdje je kuk u položaju abdukcije/adukcije i gdje je gležanj u supinaciji/pronaciji. Također je naglašena kontrola razmaka između stopala.

Rampa i vrata

Često, prilikom odlaska u šetnju, ulaska ili izlaska iz javnih zgrada potrebno popeti se ili se spustiti na rampe. Nadalje, otvaranje i zatvaranje vrata zahtijeva precizno postavljanje stopala u zatvorenom prostoru. U ovom zadatku, sudionici se moraju penjati i spuštati rampama te prolaziti kroz vrata. Zatim, posuda s jabukama mora biti podignuta na dnu uzlazne rampe, odneseno na drugu stranu vrata i smješteno na polici na dnu silazne rampe. Otvaranje i zatvaranje vrata zahtijeva od sudionika korake naprijed i natrag.

2.5. Utrka s nošenjem egzoskeletona na pogon / *Powered Exoskeleton Race (EXO)*

Sudionici s potpunim torakalnim ili lumbalnim ozljedama leđne motđine opremljeni su egzoskeletnim uređajima i izazov utrke su zadaci vezani uz svakodnevne životne aktivnosti.

Osim što se koriste u rehabilitacijskim uvjetima za poboljšanja funkcija za kretanje, egzoskeletoni su obećavajuća alternativa invalidskim kolicima. Zabilježeni su pozitivni učinci povezani s zdravljem, kao što su poboljšana kardiorespiratorna i crijeva funkcija, povećana gustoća kostiju te smanjenje spastičnosti i boli. Sudionici također bilježe pozitivne učinke na socijalnu interakciju i psihološke koristi.

Od sudionika se traži da u zadanom vremenu riješe što više zadataka:

1. Sjedenje i ustajanje
2. Slalom
3. Težak teren
4. Stepenice
5. Staza pod nagibom
6. Rampa i vrata

Sjedenje i ustajanje

Sjediti i stajati je opći izazov kada se nosi egzoskeletni uređaj jer je potrebno značajnih aktivacija lokomotornog sustava oko zglobova koljena i kuka kako bi se moglo ustati i kontrolirano sjesti. U prvom dijelu ovog zadatka, od sudionika se traži da sjednu i ustanu s kauča. Kada stoji u egzoskeletnom uređaju, štake se obično koriste za održavanje ravnoteže. Međutim, često je potrebno manipulirati objektima za vrijeme stajanja (npr. na kuhinjskom pultu). U drugom dijelu ovog zadatka od sudionika se traži da stave čaše u ciljno područje dok stoje pored stola.

Slalom

Često je u svakodnevnom životu potrebno kretanje oko prepreka kako bi se izbjegli sudari ili bi se došlo do određenog odredišta. U ovom zadatku, sudionici savlađuju slalomsku stazu sastavljenu od pojedinačnih komada namještaja.

Težak teren

U određenim situacijama, u svakodnevnom životu, potrebno je preći preko prepreka na tlu i precizno kontrolirati pozicioniranje stopala (npr. pri ulasku u pokretne stepenice ili

koraćanje preko kamenja ili korijenja). U ovom zadatku, sudionik je izazvan savladati neravan teren i testira se sposobnost postavljanja stopala na određeno mjesto.

Stepenice

Stepenice su vrlo česte u svakodnevnom životu. Ovaj zadatak ispituje koliko dobro egzoskeleton podržava djelovanje po uzlaznim i silaznim stepenicama.

Staza pod nagibom

Prevladavanje puta pod nagibom u egzoskeletonu je izazovno jer zahtijeva abdukciju/adukciju u kuku i pronaciju/supinaciju u gležnju. Nagibni put s različitim površinama (brušeno drvo i umjetna trava) koristi se za stvaranje izazova takve situacije.

Rampa i vrata

Sudionici na egzoskeletonima moraju se popeti na rampu, proći kroz vrata i spustiti se niz rampu. Ispituje se sposobnost prevladavanja strmih nagiba i kretanje u skućenom prostoru (tj. korak unatrag, odnosno u stranu). Od sudionika se traži da otvaraju i zatvaraju vrata (ručka tipa poluge) i izazov je ostati u ravnoteži prilikom ovog zadatka.

2.6. Utrka invalidskim kolicima na pogon / *Powered Wheelchair Race (WHL)*

Sudionici s teškim invaliditetom (npr. zbog tetraplegije, amputacije ili neurodegenerativne bolesti) opremljeni pokretanim invalidskim kolicima izazvani su zadacima

vezanim uz svakodnevne životne aktivnosti. Zadaci su osmišljeni kako bi se testirala tehnologija i kako vješto sudionici mogu upravljati svojim invalidskim kolicima. Nadalje, izazovi u zadacima povezani su s problemima veličine i dizajna kolica uzimajući u obzir svakodnevna ograničenja (npr. visina standardnog stola, unutarnja širina vrata).

Od sudionika se traži da u zadanom vremenu riješe što više zadataka:

1. Stol
2. Slalom
3. Težak teren
4. Stepenice
5. Staza pod nagibom
6. Rampa i vrata

Stol

Pogonska invalidska kolica često su previše glomazna da bi se uklopila za standardni stol, a to je ključno za socijalnu interakciju. Sudionici bi trebali biti u mogućnosti voziti blizu stola na takav način da se bedra sudionika stave ispod stola.

Slalom

Često je u svakodnevnom životu potrebno kretanje oko statičkih ili pokretnih prepreka kako bi se izbjegli sudari ili bi se došlo do određenog odredišta. U tom zadatku, sudionici prevladavaju slalomsku stazu sastavljenu od pojedinačnih komada namještaja.

Težak teren

U svakodnevnom životu nisu sve površine uređene pa pogoni invalidskih kolica moraju biti u stanju nositi se s takvim situacijama. Ovaj zadatak ispituje sposobnost sudionika u invalidskim kolicima da vozi preko neravnih terena kao što su kaldrme.

Stepenice

U ovom zadatku, sudionici s invalidskim kolicima moraju se penjati i spuštati po standardnim stepenicama. Moraju zaustaviti svoja invalidska kolica dok se spuštaju s rampe kako bi pokazali da se mogu zaustaviti na stubama u bilo koje vrijeme.

Staza pod nagibom

Može se naići na puteve različitih nagiba gdje se površine mogu razlikovati (npr. kretanje po planinskim stazama ili preko polja). Nagibna staza s različitim površinama (brušeno drvo i umjetna trava) koristi se kao izazov u zadatku za sudionike i njihove uređaje.

Rampa i vrata

Sudionici se penju i spuštaju rampama i prolaziti kroz vrata. Ispituje se sposobnost kretanja strmim nagibom i kretanje u skučenom prostoru (tj. vožnja unatrag i sa strane). Štoviše, sudionici otvaraju i zatvoriti vrata s tehničkom pomoći. Tehnička pomoć mora biti na punjenje jer mnogi korisnici invalidskih kolica na pogon ne mogu otvoriti ili zatvoriti vrata vlastitom snagom.

3. OPIS POKRETA PO DISCIPLINAMA

Ovim poglavljem se opisuje izvedba pokreta u svakoj disciplini. Bitno je naglasiti kako su finalni oblici pomagala i uređaja dugo izrađivani te su posljedica suradnje inženjera, njihovih ideja prilikom izrade uređaja i sudionika. U literaturi se osim opisa pokreta, razlaže metodika treninga kroz koju su prolazili sudionici. Sumiranjem metodike treninga svih disciplina, dolazi se do zaključka kako je bila potrebna velika podrška stručnjaka i prilagodba sudionika na pomagala zbog nelagode koje je stvarala nova tehnologija. Naročito u treninzima za utrku u sustavu sučelja mozga i računala bila je prisutna duga prilagodba sudionika na vježbe i naredbe igrice. Na početku su vremenski kratko trajale zbog brzog gubitka fokusa na avatara te pronalaženja najboljih zadataka kao što će biti opisano u narednom tekstu. Sudjelovao je manji broj natjecatelja zbog broja uređaja/ pomagala koja su se prvi put izrađivali te je bilo nepoznato kako će djelovati na sudionika ukoliko se pokvari na samom sudioniku, hoće li programi biti točni i hoće li se moći izvoditi. Pretpostavka je da će 2020. na natjecanju sudjelovati veći broj natjecatelja zbog već poznatih uređaja i poznatog načina njihovog rada. Također, na temelju

iskustva iz Cybathlon 2016. moglo se uočiti u kojem smjeru poboljšati svako pomagalo/ uređaj i disciplinu.

Utrka u sustavu sučelja mozga i računala

Sustav sučelja mozga i računala je uređaj koji sudionicima omogućuje interakciju svojom okolinom preko namjernog moduliranja svoje aktivnost mozga (Wolpaw i sur.,2002). Neinvazivni uređaj nazvan Graz-BCI fokusira se na promjene oscilatornih komponenti u signalima elektroencefalografije (EEG) zbog različitih mentalnih zadataka, kao što je motorička slika (eng. *motor imagery*) ili mentalna aritmetika. Koristile su se 32 aktivne elektrode s dodatnim elektrodama za frontalne i parijetalne površine glave po pilotu (Statthaler i sur.,2017; Pfurtscheller, G., Neuper, C.,2001; Neuper i sur.,2005). One su bilježile promjene u računalnim naredbama za kontrolu aplikacija.

Što se tiče SMR utrke, subjekt utrke je računalna igra kojom upravlja sudionik. Igra "BrainRunners" posebno je razvijena za Cybathlon natjecanja i unaprijed dostavljena timovima da im se omoguće učinkovite pripreme za utрку. Sudionik kontrolira avatar u utrci protiv najviše tri natjecatelja. Avatar se neprestano kreće naprijed po ravnoj natjecateljskoj stazi. Samo staza se sastoji od nasumičnih slijeda blokova, tj. slijeda od tri različita djelovanja blokova i blok za odmor. Avatar prima pojačivače brzine preko akcijskih blokova ako pilot šalje točnu naredbu obzirom na polje, ali usporava kad god se pokrene pogrešna naredba. Na bloku za odmor u kojoj nema ispravne naredbe avatar je usporen bilo kojom naredbom. Dakle, u optimalnom slučaju, sudionik može kontrolirati četiri različite naredbe vrlo pouzdano (bez naredbe i 3 naredbe akcije; Cybathlon 2019).

Studije Friedricha i sur.(2013) i Müller-Putz i sur.(2005) ukazuju na to da postoji veliki broj mentalnih zadataka koji uzrokuju promjene u oscilatornim EEG komponentama. Cilj je bio naći kombinaciju od četiri zadatka kojima je omogućena najbolja izvedba od 70 mogućih. U utri krug je ušlo sedam različitih mentalnih zadataka s odmorom kao osmim zadatkom. Nađena su četiri zadatka koji omogućuju najbolju izvedbu: 1. Ruka (motorička slika desne ruke; imaginacije ponavljajućeg stiskanja gumene lopte), 2. Stopalo (motorička slika oba stopala;

imaginacija ponavljajuće plantarne fleksije/ekstenzije oba stopala), 3. Oduzimanje (mentalno oduzimanje; ponovljeno oduzimanje u obliku lanca istog broja, počevši s jednom jednadžbom prikazane na zaslonu), 4. Odmor (bez jasnog mentalnog djelovanja, fokus na zaslonu, spriječiti pokrete očiju) (Friedrich i sur 2013; Statthaler i sur, 2017).

Biciklistička utrka na funkcionalnu električnu stimulaciju

Procjenjuje se da trenutno ima 282.000 pojedinaca koji žive s ozljedom leđne moždine u Sjedinjenim američkim državama te 17.000 novih slučajeva svake godine. Te osobe doživljavaju vrlo jedinstvene fizičke, društvene i psihološke promjene koje su rezultat smanjenja sposobnosti za obavljanje svakodnevnih aktivnosti i treninga. To često dovodi do sekundarnih komplikacija, uključujući: propadanje mišićno-koštanog sustava, bolesti kostiju i zglobova, bolesti srca, arterijske insuficijencije, poremećaje zgrušavanja i drugo (Phillips, A. A., Krassioukov, A. V., 2015). Osim toga, oni koji imaju ozljedu LM također su u rizičnoj skupini za loše mentalno zdravlje kao što je depresija (Williams, R., Murray, A., 2015).

Pronalaženjem načina za provođenje treninga u ovoj populaciji je najvažniji, ali je ograničen na specijalizirane teretane i ograničen na vježbe u gornjem dijelu tijela. Stacionarni biciklistički sustavi funkcionalne električne stimulacije (FES) su komercijalno dostupni i korišteni su kao način vježbanja. Prije izrade programa treninga, provedeno je dosta vremena u optimiziranju parametara stimulacije, pozicioniranja tijela i prijenosnih omjere za pet sudionika za koje bi provelo nekoliko mjeseci obuke za Cybathlon. Ciklus aktivacije uređaja je bio na temelju tjelesno sposobnog i površinskog stimuliranja (Hunt i sur. 2006), a zatim prilagođena implantatima za mišiće za svakog pilota. Fino namještanje vremena stimulacije i parametara pulsa nastavljeno je sve dok nije došlo do laganih pokreta pedaliranja koji su postignuti bez mrtvih točaka.

Općenito, mišići stimulirani implantatima za 5 pilota bili su *m. gluteus maximus*, stražnji dio *m. adductor magnus*, *m. quadriceps* i *m. semimembranosus*. Pet sudionika koristilo je sličnu stimulaciju uređaja. Iako nije bilo preklapanja stimulacija između desnog i lijevog *m. quadriceps*, *m. gluteus maximus* ili *m. semimembranosus*, bilo je približno 40 stupnjeva

stimulacije gdje se preklapaju između lijeve i desne strane *m. adductor magnus* prvenstveno radi minimiziranja abdukcije kuka.

Za zaštitu zglobova koji su bez osjeta i za smanjenje potencijalnih gubitaka snage zbog viška bočnih pokreta i vanjskih rotacija nogu služilo se mnogim različitim kombinacija u pozicioniranju tijela, traka za stabilizaciju gornjeg dijela tijela i ispitani su pojasevi za stabilizaciju stopala/gležnja. Stoga, dostupni su imobilizatori za gležanj-stopalo te su čvrsto pričvršćeni na standardne pedale za platformu odmah ispod maleoli gležnja kako bi optimizirali prijenos sile i ograničili kretanje kuka u sagitalnoj ravnini. Te su prilagodbe bile prvenstveno na temelju vizualnog pregleda biciklističkog kretanja i povratne informacije od sudionika. Sami sudionici su sposobni samostalno i sigurno služiti se ovim prijevoznim sredstvom kao dijelom programa treninga ili rehabilitacije prije nego što njime sami odu kući (McDaniel, 2017).

Utrka s nošenjem ručne proteze na pogon

Zadaci specifični za rad (Peterson N.G. i sur., 2001) uvijek definiraju specifične funkcionalne zahtjeve za radnike- time se uključuju radnici s protetskim rukama (Davidson, J., 2002). Jednom kada se izrazi osobna preferencija u obliku određenog izbora posla te kada je osoba stekla veliko iskustvo i vještine na određenom području, često određene tehničke potrebe moraju tražiti naprednija rješenja (Millstein, S., Bain, D., & Hunter, G. A., 1985). Zatim, razna protetska rješenja mogu se nadmetati čija će biti bolja performansa, a zapravo zahtjevi za održiva protetska rješenja već postoje.

U Cybathlonu 2016 sudionici su nosili protetske ruke pokušavajući obavljati brze i precizne manipulacije laganih aktivnosti. Pobjednik je nosio protezu koja se puni na snagu tijela,

odnosno ramena (u daljnjem tekstu; eng. *body-powered* ruka) te ono što je specifično za *body-powered* ruku jest ta što su ponekad potrebni kompenzacijski pokreti koji se manifestiraju abnormalnim pokretima ramena ili šake ne bi li se ruka napunila (Carey, S. L., Highsmith, M. J., Maitland, M. E., & Dubey, R. V., 2008; Highsmith, M. J., Carey, S. L., Koelsch, K. W., Lusk, C. P., & Maitland, M. E., 2009). Intenzitet u fizički zahtjevnim zadacima je veći u odnosu na jednu dimenziju. Dimenzije uključuju raspon temperature okoline, duže trajanje rada, teško znojenje i daleko veće povlačenje ili guranje težine.

Ostali sudionici u natjecanju su koristili mioelektričnu ruku. Stav ili položaj može negativno utjecati mioelektričnu kontrolu. U profesionalnom treniranju i u kontroliranim okolnostima ne mogu se spriječiti iznenadne pojave negativnog utjecaja mioelektrične kontrole (Riener, R., 2016). Tipična mioelektrična kontrola koristi dvije elektrode za kontrolu jednog stupnja slobode. Smještene su na mjestima fleksora i ekstenzora s najboljim omjerom signal-šum. Ta mjesta u mišićima su aktivirana tijekom fleksije lakta, tijekom pronacije ili supinacije bez obzira na to želi li sudionik ne/slušiti mioelektričnim uređajem. Savijanjem lakta, stojeći ili mijenjajući položaj trupa te držeći ruku u stalnom položaju (fleksija/ekstenzija ruke) ili druge promjene u ekstremitetu je pozicijski rizik za dobivanje neželjenih signala (Jiang, N., Muceli, S., Graimann, B., & Farina, D., 2013). Kada je sudionik ometen i u dinamičnom radu, to može dovesti do veće vjerojatnosti za pogreškom prilikom brze izvedbe rada mioelektrične tehnologije.

S druge strane, *body-powered* ruka služi se položajem lakta, ramena da bi izravno prenijela promjena položaja kako bi aktivirala napetost analognog kabela. U *body-powered* ruci kablovi omogućuju propriocepciju (Lum, P. S., Black, I., Holley, R. J., Barth, J., & Dromerick, A. W., 2014), ali pogoršava se kontrola kada se mijenja položaj ekstremiteta ili tijela. Zato sudionik uvijek osjeća napetost kabela. (Schweitzer, W., Thali, M. J., & Egger, D., 2018)

Utrka s nošenjem nožne proteze na pogon

CYBERLEG-ove beta-proteze su transfemoralne proteze s dva aktivna stupnja slobode, jedan u koljenu i jedan u gležnju, dizajniran je prvenstveno da pomogne osobama s ograničenom

sposobnošću korištenja standardnih proteza zbog slabosti kao posljedica dobi ili bolesti s komplikacijama.

Proteza je izvorno nastala kao dio većeg projekta o CYBERLEG-u, koji kombinira ovu protezu kao sustav za zamjenu amputiranog ekstremiteta paralelno s egzoskeletonom kako bi asistirao nozi, kukovima i osjetilima za kontrolu oba sustava. Krajnji cilj cjelokupnog sustava CYBERLEG-a bio je da pomogne onima koji imaju amputiran ekstremitet i slabost u preostalom ekstremitetu te ponovno uspostaviti hodanje i poboljšati ponašanje u hodanju (Riener, R., 2016).

Iako je uređaj opremljen s dva pogonska zgloba, dizajniran je kako bi omogućio visoku razinu pasivnog ponašanja tijekom ciklusa hoda kroz upotrebu pasivnih komponenti koje su ili ugrađene u serijske elastične aktuatora ili opruge koje su umetnute i uklonjene iz interakcije mehanizmima za zaključavanje. Kroz njihovo korištenje pasivne komponente za pohranu energije, moguće je s jednostavnom kontrolom, stvaraju se energetske učinkovite ciklusi hoda za normalno hodanje (Geeroms, J., Flynn, L., Jimenez-Fabian, R., Vanderborght, B., & Lefeber, D., 2017; Geeroms, J., Flynn, L., Jimenez-Fabian, R., Vanderborght, B., & Lefeber, D., 2018). Štoviše, proteza je sposobna osigurati puni opseg pokreta iz zgloba gležnja i koljena tijekom hodanja, kao i veliki postotak opsega pokreta potrebnog za normalno sjedenje i uspon stubama (Flynn, L., Geeroms, J., Jimenez-Fabian, R., Vanderborght, B., & Lefeber, D., 2015).

CYBERLEG-ove beta-proteze su izvorno kontrolirane pomoću sustava detekcije namjere hoda (Ambrozic, L., 2014), u koje se ugradio niz inercijalnih mjernih jedinica i uložaka za točno mjerenje pritiska tlaka obiju noga. CYBERLEG-ove beta-proteze nisu izgrađene kao standard pasivnim protezama koje koristi većina ljudi danas, ali uključuje motore u koljenima i gležnju za aktivan ulaz energije u zglob. Koristi jedinstvenu kombinaciju serija elastičnih motora i također iskorištava oprugu za zaključavanje mehanizma za postizanje energetske učinkovitog hodanja s dovoljno sposobnosti za obavljanje drugih zadataka. (Flynn, L. L., Geeroms, J., van der Hoeven, T., Vanderborght, B., Lefeber, D., 2018)

Utrka s nošenjem egzoskeletona na pogon

Egzoskeleti donjih ekstremiteta su obećavajuće rješenje za postizanje neovisnog hodanja, što bi moglo poboljšati kvalitetu života ublažavanjem negativnog utjecaja na zdravlje od dugotrajnog sjedenja, omogućavajući kontakt očima i povećanje aktivnosti u zajednici. Pokretni egzoskeleti donjih ekstremiteta su robotske strukture koje se mogu pričvrstiti za noge i torzo kako bi sudionik bio u vertikalnom položaju i micao se nogama prema unaprijed programiranim naredbama. Ravnoteža nije potpuna, zbog čega su potrebne štake (Esquenazi, A., Talaty, M., Jayaraman, A., 2017; Hubli, M., Dietz, V., 2013).

Robotska struktura ima tri stupnja slobode: u sagitalnoj ravnini u svakoj nozi, dvije su aktivne za kuk i za fleksiju/ ekstenziju koljena i jedna pasivna za fleksiju/ ekstenziju gležnja. Egzoskeleton je priključen na sudionika putem spojnica na nozi i ortoze na torzu. Hodanje je moguće bez aktivnog rasterećenja gležnja, odnosno u pasivnom zglobu samo se mora podići nožni prst tijekom faze odguravanja sukladno neravnim površinama. Krivulja trajektorije je definirana okretanjem referentne trajektorije za hodanje i produljenje produženja koljena tijekom početnog stava. Sudionik može podesiti trajektoriju okretanjem s gumbima na štakama za kosine između -20° i 20° . To omogućuje prevladavanje svakodnevnim usponima (Schrade i sur., 2018).

Utrka invalidskim kolicima na pogon

Ova disciplina se neće opisivati pošto u njoj nije uključen ljudski pokret koji je povezan i potaknut bioničkom tehnologijom. Radi se o razvoju hibridnih invalidskih kolica i samih inženjerskih svojstava kolica koja omogućuju uspješno izvršavanje zadataka u natjecanju.

Potrebno je naglasiti da je prototip dizajniran pomoću kompaktnog sustava koji omogućuje da se sjedalo naslanja, pomičući središte gravitacije unatrag za vrijeme manevriranja prepreka (Podobnik, J., Rejc, J., Slajpah, S., Munih, M., & Mihelj, M., 2017).

4. ZAKLJUČAK

Nakon što se šest disciplina u Cybathlon 2016 dokazalo kao učinkovitima, one će ostati u programu Cybathlon 2020 - meĐutim, bit će novih uzbudljivih izazova. Iako će zadaci i dalje biti relevantni za svakodnevni ųivot, oni će odraųavati napredak u istraųivanju. To znači da posjetitelji i sudionici mogu očekivati daljnji razvoj svih šest disciplina i cjelokupnog natjecanja. Ono će se provoditi u dva dana gdje će kvalifikacije biti prvi dan, a finala drugi dan. TakoĐer, navijači imaju priliku okuųati se u disciplinama. Nekoliko dana prije samog natjecanja provodi se stručni simpozij u kojem se predstavljaju nova istraųivanja i tehnologije koje su unaprijedile kvalitetu natjecateljskih pomagala i ureĐaja. Samim time nastavlja se tradicija iz simpozija Cybathlona 2016 gdje kod -okruglog stolall sudjeluju izraĐivači ureĐaja i pomagala, predstavnici pacijenata i industrije te istraųivač etike ističući mogućnosti i izazove u području asistivne tehnologije, njezinog industrijskog prijenosa i prihvaćanja sudionika (Cybathlon, 2019).

Discipline i zadaci koji su se osmislili za Cybathlon su vrlo zanimljivi i korisni sudionicima koji sudjeluju na natjecanju. To su praktična znanja koja su im zbog novog, stalnog stanja postala nedostupna, oteųana i/ili nemoguća za izvesti. Upravo ovim se potiče uključivanje drugih sveučilišta i sudionika za razvoj samog Cybathlona te razvoj pristupa osobama s invaliditetom.

Postavlja se pitanje hoće li Cybathlon potaknuti razvoj radne terapije koja je od velike pomoći osobama s invaliditetom. Naime, radnoj terapiji je cilj osposobiti osobe za obavljanje svakodnevnih aktivnosti kod djece i odraslih. Dostupni ureĐaji i proteze s natjecanja radnoj terapiji bili bi revolucionarno dijeljenje i širenje znanja time što, postanu li proteze i ureĐaji zaista upotrebljivi široj populaciji s invaliditetom, individualizacija terapije bi došla do više razine te oporavak bi bio kvalitetniji. Ponovno stvaranje motoričkog programa, primjerice paljenje šibice s protetskom rukom kao u Cybathlon natjecanju, bilo bi brųe i motivirajuće za korisnika.

Prirodan slijed dogaĐaja nakon radne terapije bio bi povratak osoba s tjelesnim oštećenjima na radno mjesto. Budući da trenutno predstavljeni ureĐaji i proteze imaju svrhu obavljanja jednostavnih i svakodnevnih aktivnosti, pretpostavka jest da će doći do programiranja

uređaja za zahtjevnije aktivnosti i aktivnosti tipične za pojedinu struku (rad na stroju, za tipkovnicom i slično). Stoga, zdravi i radno sposobni ljudi s tjelesnim oštećenjima neće biti zaustavljeni i diskriminirani u daljnjem razvijanju svoje karijere.

Kao što se Cybathlon temelji na zadacima iz svakodnevnih aktivnosti i svakidašnjim događajima, postoji mogućnost da će se više osvijestiti ne samo inženjeri koji unapređuju ove uređaje, nego arhitekti i inženjeri prometa te njima slične struke. Time bi se prilagodilo prostor osobama s invaliditetom i mnoga mjesta postala bi im pristupačna. Javlja se problem kod osoba koje iznenadno postanu osobe s invaliditetom kada zbog nemogućnosti prilaska poznatim objektima gube socijalnu povezanost s krugom ljudi iz poznate okoline.

Ovakvim razvojem natjecanja dovodi se u pitanje koliki udio pokreta izvodi (izvodit će) sam sudionik, a koliko proteza/pomagalo te hoće li se primjenjivati primjerice u Paraolimpijskim igrama. Ukoliko ova tehnologija dođe do parasporta, vjerojatno će ti sportaši više nego ikad biti napadnuti zbog rezultata i zavidne performanse od strane medija te od sportaša bez invaliditeta. Od jednostavnog koncepta Cybathlona gdje se zapravo reorganiziraju motorički programi svakodnevnih aktivnosti, pitamo se hoće li i (ako da) kada će se parasportaši poslužiti ovim inovacijama. Hoće li inovacije koje su filantropskog cilja postati negativne te će postati novim dopingom? Tada parasport više neće biti performansa ljudskih sposobnosti, nego performansa robotike. Na temelju fizičkog i intelektualnog stanja parasportaša već postoji velik broj disciplina. Uvedu li se Cybathlon inovacije u parasport doći će do veće potrebe za definiranjem kategorija po disciplini i definiranjem dopuštene tehnologije. Hoće li se u ovom aspektu izgubiti bit sporta?

S etičkog aspekta ova nova atrakcija i inovacija u sportu osoba s invaliditetom ih može –pretvoriti u tzv. kiborge (tj. bit će s ugrađenim umjetnim organima ili cijelim dijelovima tijela) (hrleksikon.info, 2019) te bi već duboko ukorijenjene predrasude mogle pogoršati stanje u kojoj bi simbioza čovjeka i robotike izazivala strah. Sa suprotnog gledišta, unapređenje proteza i pomagala će omogućiti osobama s invaliditetom smanjen osjećaj ili nestanak odbacivanja iz društva čijom se problematikom bavi ableizam koji se definira kao diskriminacija osoba s invaliditetom. Potrebna je duga edukacija kojom moramo napokon shvatiti kako invaliditet je

stalno stanje, a ne bolest kojom ćemo se zaraziti. Najbitnije bi bilo naučiti kako se ne smije u osoba s invaliditetom tražiti njihovi nedostaci, nego tražiti ono što mogu i na to se usredotočiti.

5. LITERATURA

- Ambrozic, L., Gorsic, M., Geeroms, J., Flynn, L., Lova, R. M., Kamnik, R., ... & Vitiello, N. (2014). CYBERLEGS: a user-oriented robotic transfemoral prosthesis with whole-body awareness control. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 21(4), 82-93.
- Bošković, A. (2016). Rehabilitacijska tehnologija za osobe s motoričkim poremećajima (Diplomski rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:158:297570>
- Carey, S. L., Highsmith, M. J., Maitland, M. E., & Dubey, R. V. (2008). Compensatory movements of transradial prosthesis users during common tasks. *Clinical Biomechanics*, 23(9), 1128-1135.
- Cyathlon (2019), CYBATHLON – moving people and technology. Dostupno na: <http://www.cyathlon.ethz.ch/>
- Davidson, J. (2002). A survey of the satisfaction of upper limb amputees with their prostheses, their lifestyles, and their abilities. *Journal of Hand Therapy*, 15(1), 62-70.
- Draženović, M. (2018). Razvoj tehnologija sučelja mozak-računalo (Diplomski rad). Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:211:004651>
- Enciklopedija.hr (2019), Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Dostupno na: <http://enciklopedija.hr/>
- Esquenazi, A., Talaty, M., & Jayaraman, A. (2017). Powered exoskeletons for walking assistance in persons with central nervous system injuries: a narrative review. *PM&R*, 9(1), 46-62.
- Flynn, L. L., Geeroms, J., van der Hoeven, T., Vanderborght, B., & Lefeber, D. (2018). VUB-CYBERLEGS CYBATHLON 2016 Beta-Prosthesis: case study in control of an active two

- degree of freedom transfemoral prosthesis. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 15(1), 3.
- Flynn, L., Geeroms, J., Jimenez-Fabian, R., Vanderborght, B., & Lefeber, D. (2015, August). Cyberlegs beta-prosthesis active knee system. In 2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR) (pp. 410-415). IEEE.
- Friedrich, E. V., Neuper, C., & Scherer, R. (2013). Whatever works: a systematic user-centered training protocol to optimize brain-computer interfacing individually. *PloS one*, 8(9), e76214.
- Geeroms, J., Flynn, L., Jimenez-Fabian, R., Vanderborght, B., & Lefeber, D. (2017). Design and energetic evaluation of a prosthetic knee joint actuator with a lockable parallel spring. *Bioinspiration & biomimetics*, 12(2), 026002.
- Geeroms, J., Flynn, L., Jimenez-Fabian, R., Vanderborght, B., & Lefeber, D. (2018). Energetic analysis and optimization of a MACCEPA actuator in an ankle prosthesis. *Autonomous Robots*, 42(1), 147-158.
- Highsmith, M. J., Carey, S. L., Koelsch, K. W., Lusk, C. P., & Maitland, M. E. (2009). Design and fabrication of a passive-function, cylindrical grasp terminal device. *Prosthetics and orthotics international*, 33(4), 391-398.
- Hrleksikon.info (2019), Hrvatski leksikon. Dostupno na: <https://www.hrleksikon.info/>
- Hubli, M., & Dietz, V. (2013). The physiological basis of neurorehabilitation-locomotor training after spinal cord injury. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 10(1), 5.
- Hunt, K. J., Ferrario, C., Grant, S., Stone, B., McLean, A. N., Fraser, M. H., & Allan, D. B. (2006). Comparison of stimulation patterns for FES-cycling using measures of oxygen cost and stimulation cost. *Medical engineering & physics*, 28(7), 710-718.
- Jiang, N., Muceli, S., Graimann, B., & Farina, D. (2013). Effect of arm position on the prediction of kinematics from EMG in amputees. *Medical & biological engineering & computing*, 51(1-2), 143-151.

Krizmanić, M. i Kolesarić, V. (1989). Pokušaj konceptualizacije pojma "kvaliteta života".

Primijenjena psihologija, 10, 179- 184

Lum, P. S., Black, I., Holley, R. J., Barth, J., & Dromerick, A. W. (2014). Internal models of upper limb prosthesis users when grasping and lifting a fragile object with their prosthetic limb. *Experimental brain research*, 232(12), 3785-3795.

McDaniel, J., Lombardo, L. M., Foglyano, K. M., Marasco, P. D., & Triolo, R. J. (2017). Setting the pace: insights and advancements gained while preparing for an FES bike race. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 14(1), 118.

McVeigh, S. A., Hitzig, S. L., & Craven, B. C. (2009). Influence of sport participation on community integration and quality of life: a comparison between sport participants and non-sport participants with spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*, 32(2), 115-124

Millstein, S., Bain, D., & Hunter, G. A. (1985). A review of employment patterns of industrial amputees—factors influencing rehabilitation. *Prosthetics and orthotics international*, 9(2), 69-78.

Müller-Putz, G. R., Scherer, R., Pfurtscheller, G., & Rupp, R. (2005). EEG-based neuroprosthesis control: a step towards clinical practice. *Neuroscience letters*, 382(1-2), 169-174.

Neuper, C., Scherer, R., Reiner, M., & Pfurtscheller, G. (2005). Imagery of motor actions: Differential effects of kinesthetic and visual–motor mode of imagery in single-trial EEG. *Cognitive brain research*, 25(3), 668-677.

Peterson, N. G., Mumford, M. D., Borman, W. C., Jeanneret, P. R., Fleishman, E. A., Levin, K. Y., ... & Gowing, M. K. (2001). Understanding work using the Occupational Information Network (O* NET): Implications for practice and research. *Personnel Psychology*, 54(2), 451-492.

Pfurtscheller, G., & Neuper, C. (2001). Motor imagery and direct brain-computer communication. *Proceedings of the IEEE*, 89(7), 1123-1134.

- Phillips, A. A., & Krassioukov, A. V. (2015). Contemporary cardiovascular concerns after spinal cord injury: mechanisms, maladaptations, and management. *Journal of neurotrauma*, 32(24), 1927-1942.
- Podobnik, J., Rejc, J., Slajpah, S., Munih, M., & Mihelj, M. (2017). All-Terrain Wheelchair: Increasing Personal Mobility with a Powered Wheel-Track Hybrid Wheelchair. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 24(4), 26-36.
- Races and Disciplines (2018), Races and Disciplines – CYBATHLON – moving people and technology | ETH Zurich. Dostupno na: <http://www.cyathlon.ethz.ch/races-and-disciplines.html>
- Riener, R. (2016). The Cybathlon promotes the development of assistive technology for people with physical disabilities. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 13(1), 49.
- Schrade, S. O., Dätwyler, K., Stücheli, M., Studer, K., Türk, D. A., Meboldt, M., ... & Lambercy, O. (2018). Development of VariLeg, an exoskeleton with variable stiffness actuation: first results and user evaluation from the CYBATHLON 2016. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 15(1), 18.
- Schweitzer, W., Thali, M. J., & Egger, D. (2018). Case-study of a user-driven prosthetic arm design: bionic hand versus customized body-powered technology in a highly demanding work environment. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 15(1), 1.
- Statthaler, K., Schwarz, A., Steyrl, D., Kobler, R., Höller, M. K., Brandstetter, J., ... & Müller-Putz, G. (2017). Cybathlon experiences of the Graz BCI racing team Mirage91 in the brain-computer interface discipline. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 14(1), 129.
- Tarandek, T., & Leutar, Z. (2017). Neki aspekti neovisnog življenja osoba s invaliditetom. *Revija za socijalnu politiku*, 24(3), 301-320.
- Williams, R., & Murray, A. (2015). Prevalence of depression after spinal cord injury: a meta-analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 96(1), 133-140.

Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain–computer interfaces for communication and control. *Clinical neurophysiology*, 113(6), 767-791.